# 最先端DAコンバータを実測

## ●TI PCM 1792による192 kHz，24ビットデータの再生

河合　一

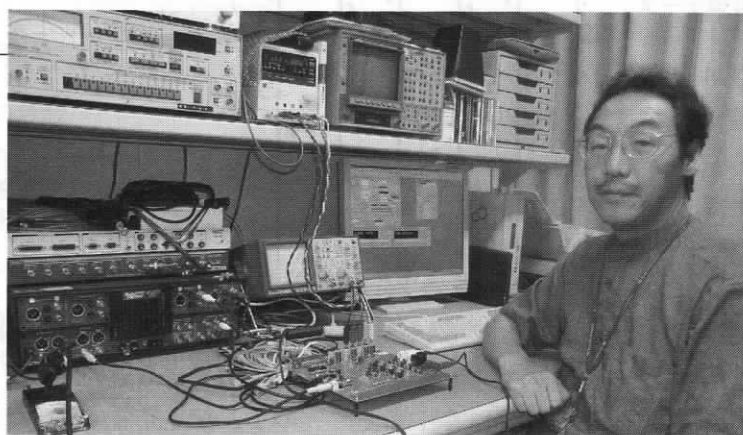
●実験室での筆者

本誌2004年6月号で$f_s$＝192 kHzのAD/DA総合特性についてご紹介しましたが，本稿ではD/A変換部のみに着目して，測定法を含めて，その性能をご紹介します．

D/AコンバータはTI（BB）社PCM 1792を使用します．本デバイスの動作原理などの詳細は2003年5，6月号を参照してください．このデバイスはAdvanced Segment方式による最高性能ステレオDACで，PCM/DSDどちらにも対応しています．PCMでは最大$f_s$＝192 kHz，24ビットのD/A変換が可能で，

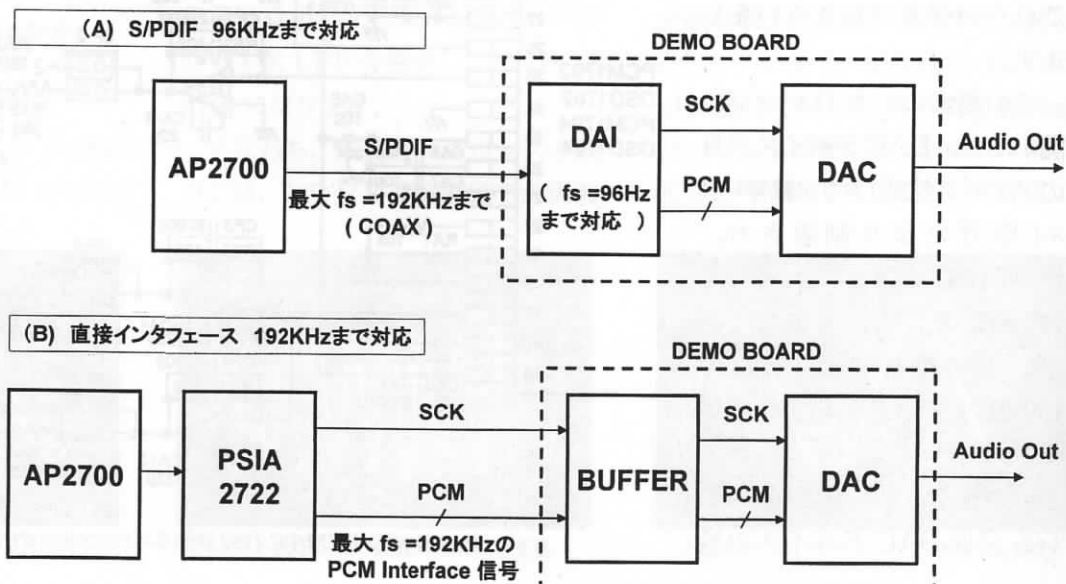
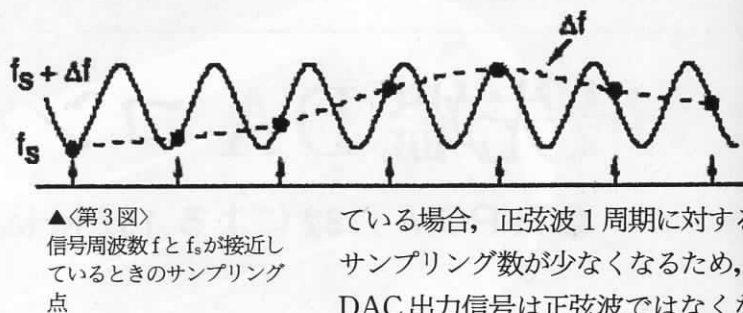
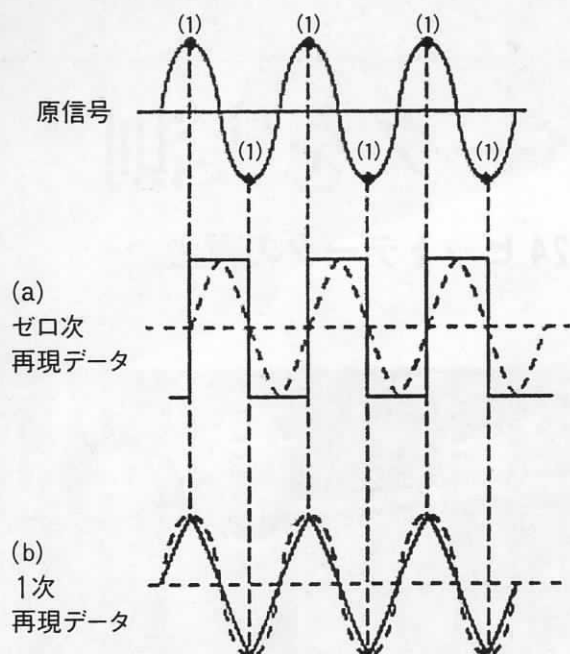
THD＋N：0.0004%（TYP）
Dレンジ：127 dB（TYP）

を実現しています．このことから各オーディオ・メーカーの中・高級モデルにも多く採用されています．

### $f_s$＝192 kHz動作のテスト

オーディオ・デバイスのテストにはAudio Precision社System-Twoが一般的に用いられていますが，従来品は$f_s$＝192 kHzのデジタル信号出力には対応していませんでした．このため，TI社では市販のICテスターと自社開発の信号源/テスト装置を組み合わせて，$f_s$＝192 kHz動作でのテストを行っていました．

こうした中，昨年AP社からAP 2700シリーズという$f_s$＝192 kHzに対応したモデルが市場に現れ，TI社でもこれを$f_s$＝192 kHz動作でのテスト・システムのひとつとして利用しています．ただし，評価ボードに実装してあるDAIレシーバは最大$f_s$＝96 kHzまでしか対応していないため，S/PDIFインタフェースでは$f_s$＝96 kHzまでしかテストできません．

AP 2700では，PSIA 2722という外部アダプタを組み合わせることによりPCM信号（LRCK，BCK，DATA）とシステム・クロックを出力できるので，この信号を直接DACデバイスに接続することにより$f_s$＝192 kHzのテストが可能に

〈第1図〉サンプリング周波数$f_s$が192 kHz動作でのテスト法

◀〈第2図〉
サンプリング周波数と正弦波の再現の関係

$f_s+\Delta f$
$f_s$
$\Delta f$

▲〈第3図〉
信号周波数fと$f_s$が接近しているときのサンプリング点

なります．これらの概念を第1図に示します．

以下本稿でのテストは，特に記述のない限り第1図(B)のテスト・システム構成で行います．

## $f_s$＝192 kHz，24ビット・データでの理論値

周知のとおり，デジタル・オーディオでは標本化周波数（サンプリング周波数）と量子化ステップ数（分解能/ビット）の2大要素により性能限界が決定されます．$f_s$＝192 kHz，24ビット分解能条件では，

最大信号周波数 $f_{max}$＝96 kHz

Dレンジ：約146 dB

となります．ここで，ちょっとこれらの要素のおさらいをします．

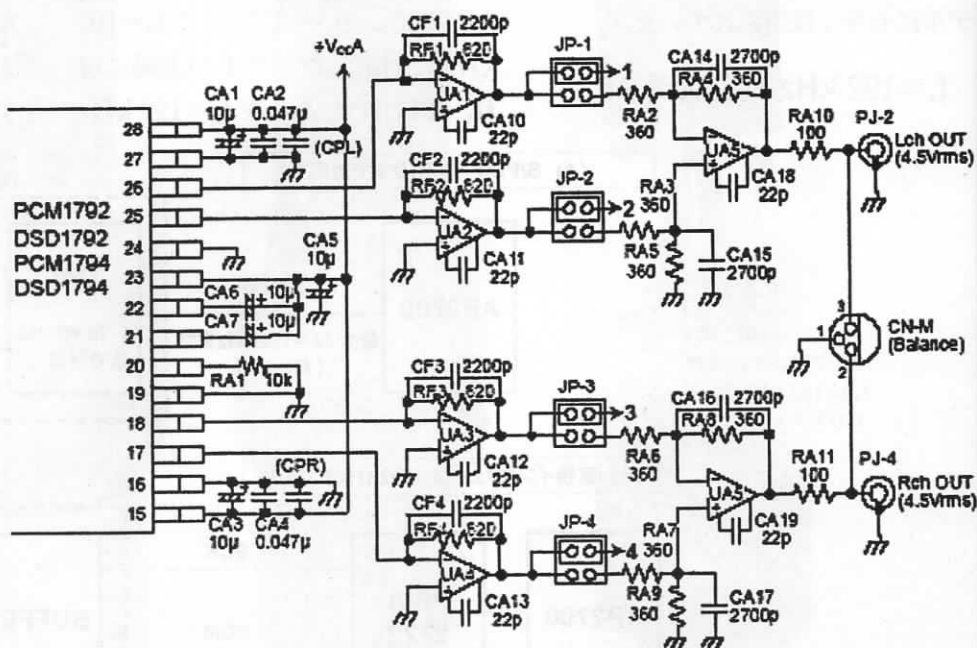
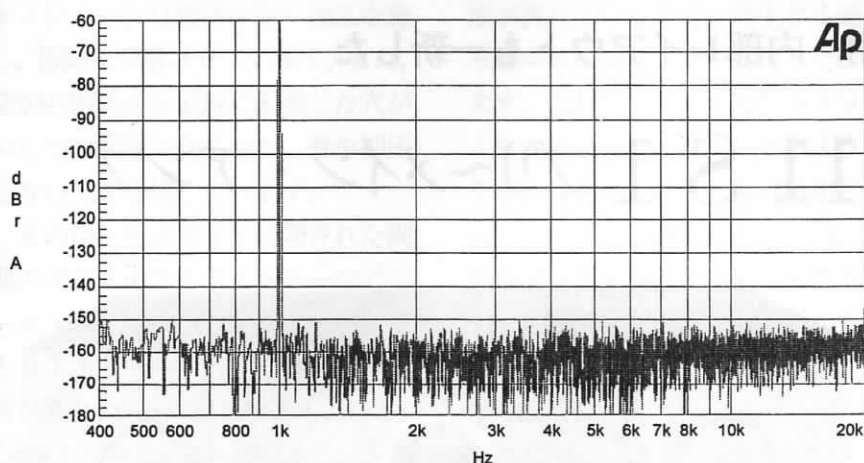
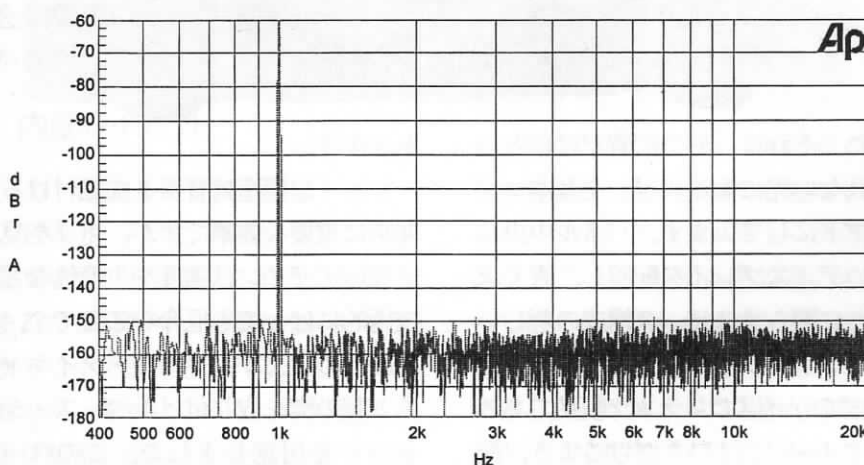
この要素のうちDレンジに関しては，DACデバイス自身のアナログ性能（おもに雑音レベル）限界により制限され，PCM 1792では2 $V_{rms}$出力で127 dB，4.5 $V_{rms}$出力で129 dB，モノ動作9 $V_{rms}$出力で132 dBとそれぞれ規定しています．

いずれも，120 dB以上のDレンジはDACデバイスの性能限界と周辺アナログ回路における性能限界にも近いため，PCレイアウト，部品品種，定数など細心の検討が必要です．こうすることにより，実アプリケーションでのDレンジ特性は，ほぼDACデバイスの性能で決定されます．

一方，最大信号周波数は“信号周波数”としてはDACデバイスの性能に左右されるものではありません．しかし，正弦波の再現という観点では一考の余地があります．これはサンプリング周波数$f_s$において，$f_s/2$に対して信号周波数fが近接している場合，正弦波1周期に対するサンプリング数が少なくなるため，DAC出力信号は正弦波ではなくなってしまうからです．この概念を第2図に示します．

第2図では，$f_s$＝2fでのDAC出力を示しています．直接出力(Zeroオーダー)では，出力信号波形はほぼ方形波です．1次のLPF通過(Firstオーダー）で方形波は成形され正弦波に近くなりますが，ひずみ率で表せば何10%といったオーダーです．

実際のアプリケーション，たとえばCDでは，$f_s$＝44.1 kHzに対するナイキスト周波数22.05 kHzに対して，20 kHzの信号は$\Delta f$＝22.05 kHz－20 kHzの差分があり，整数倍の関係ではないのでサンプリング・ポイントが周期ごとに変化していきます．

この様子を第3図に示します．第3図における破線$\Delta f$はサンプリング・ポイントでのビートを示しています．ここでのビートはエリアシン

〈第4図〉DEM-PC 1792 評価ボードのアナログ出力回路

〈第9図A〉$f_s$ 48 kHz での−60 dB出力のFFT解析

〈第9図B〉$f_s$ 192 kHz での−60 dB出力のFFT解析

号(16ビット～24ビット)で，16ビットと24ビットのちがいによるDレンジの拡大，低THD+N特性化が特長になります.当然,使用DACデバイスの性能で決定される要素となります.

## FFT測定

第9図に−60 dB，1 kHz信号再生のFFT測定の実測データを示します．第9図(A)は$f_s$＝48 kHz，第9図(B)は$f_s$＝192 kHzでのものです．どちらのFFTでも，−60 dB出力では高調波としてのTHDはほとんど見られず，$f_s$＝192 kHzの方が若干ノイズ・フロアのレベルが高いのがわかります．これは前述のTHD測定での$f_s$が高い場合のDAC動作での解説のとおり，おもにスイッチング・ノイズが帯域内で若干増加することによります．

この場合も$f_s$＝192 kHzだからといって大きなノイズ上昇があるものではなく，聴感でのひずみ感(THD)にはFFTデータ上の影響はないと思われます．

## まとめ

今回は，24ビット，$f_s$＝192 kHz再生での特長を把握する意味で，理論上どのような性能限界があり，実際の信号再生にどのように関係しているか，各種データの実測で検証してきました．

筆者自身が改めて再認識した点も踏まえて,以下に24ビット,$f_s$＝192 kHz動作での特長をまとめます．

結論からいいますと，量子化分解能の24ビット化によるTHD+N，Dレンジの高性能化はもちろん大きな特長です．そして，スペック数値で表される要素に加えて，周波数軸での応答性の優位点も大きな特長であり，聴感上これらの要素が与えている影響は大きいと思われます．項目別にまとめますと，以下のようになります．

### (1) THD+Nとオーディオ特性

これらの特性は16ビットから24ビット量子化になったことによるアナログ振幅軸での優位性が大きく，動作$f_s$による差異はほとんどない．ノイズ，THDともほとんどDACデバイスの性能で決定．

### (2) 周波数レスポンス

周波数レスポンスはナイキスト周波数付近までほぼフラット．したがって，$f_s$＝192 kHzでは最大96 kHzまで周波数特性を伸ばすことが可能.実機においては,CDとDAとのマルチプレイの場合，ポストLPFのカットオフ周波数をどう設定するかの考察が必要．

### (3) 正弦波再現性

ナイキスト周波数に近接する信号周波数での信号再現性では,$f_s$＝192 kHzにすることにより非常に優位となる．

### (4) 方形波応答

方形波応答での通過周波数上限，FIRフィルタ応答でも$f_s$＝192 kHzは優位である．

こうして見ると，24ビット量子化，$f_s$＝192 kHz動作での多くの優位性を再確認することができます．特に，周波数軸に関する特性は単純な周波数レスポンス(帯域)以上に多くの優位性があり，音楽再生における“音質”とも密接に関係していると思われます．

(日本テキサス・インスツルメンツ/日本DCESカンパニー)